

FÍSICA DE BRAQUITERAPIA II

CALIBRACIÓN DE FUENTES Y FORMALISMOS DE CÁLCULO DE DOSIS

Curso Regional de Capacitación

Actualización en Braquiterapia de Alta Tasa de Dosis

4 al 8 Septiembre de 2017, Santiago, CHILE

Rubén A. Yáñez D.
Físico Médico – Bioingeniero
Sub Depto. Oncología y Rdt.
Hospital Base Valdivia
Valdivia - Chile

OBJETIVOS DE LA PRESENTACIÓN

- MOSTRAR EL PROCESO PARA CALIBRAR FUENTES
- EXPLICAR FORMALISMO TASK GROUP 43 (TG43)
- PRESENTAR NUEVOS ALGORITMOS (MBDCA)

ESQUEMA DE LA PRESENTACIÓN

1

- CALIBRACIÓN DE FUENTES

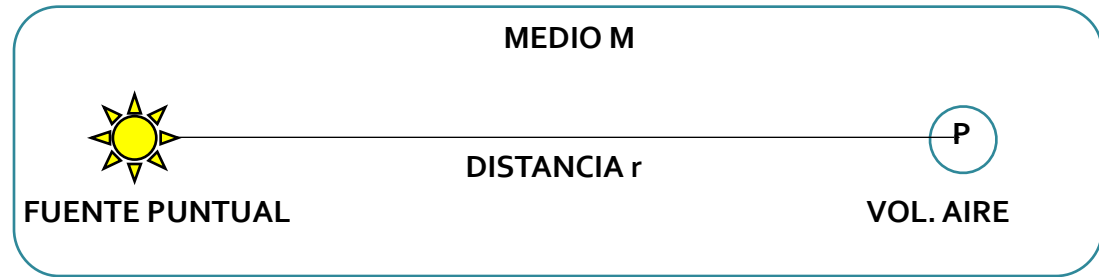
2

- FORMALISMO TG₄₃

3

- NUEVOS ALGORITMOS

CONSTANTE DE KERMA EN AIRE



Manteniendo fija la distancia r , cambio A y mido K ...

A_1

K_1

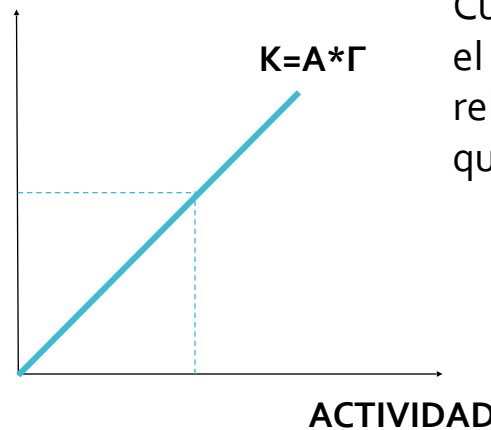
A_2

K_2

A_n

K_n

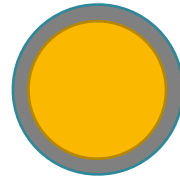
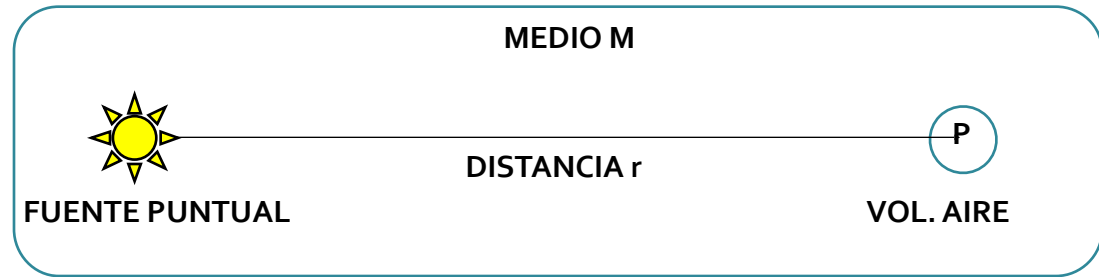
KERMA



Cuando cambia la distancia r al punto P , el valor de K varía según $1/r^2$, entonces la relación entre Actividad A y Kerma K queda de la siguiente forma:

$$\dot{K}_{AIRE@P} = \frac{A * \Gamma}{r^2}$$

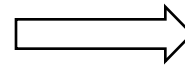
CONSTANTE DE KERMA EN AIRE



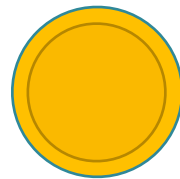
FUENTE PUNTUAL SELLADA
DE ACTIVIDAD A

$$\dot{K}_{AIRE@P} = \frac{A * \Gamma_{\delta}}{r^2}$$

$$A_{AP} = A * e^{-\mu x}$$



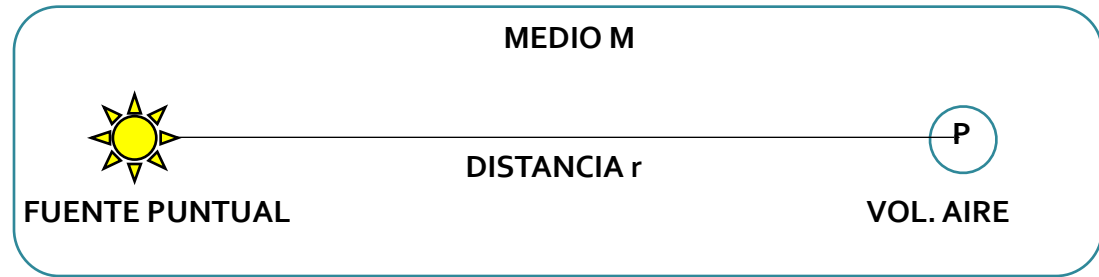
$$\dot{K}_{AIRE@P} = \frac{A_{AP} * \Gamma_{\delta}}{r^2}$$



FUENTE PUNTUAL NO
SELLADA DE ACTIVIDAD A_{AP}

CUANDO LA DISTANCIA ES IGUAL A 1 METRO
HABLAMOS DE
**TASA DE KERMA EN AIRE DE REFERENCIA
(RAKR)**

TASA DE KERMA EN AIRE DE REFERENCIA (RAKR)



$$\dot{K}_{AIRE@P} = \frac{A_{AP} * \Gamma_{\delta}}{r^2}$$

$$RAKR = \frac{A_{AP} * \Gamma_{\delta}}{1^2}$$

Las ventajas de **Tasa de Kerma en Aire de Referencia (RAKR)**

- Es trazable a un estándar nacional (o internacional)
- Es fácil relación RAKR con la Tasa de Dosis en Tejido
- Es sencillo estimar riesgo alrededor de la fuente

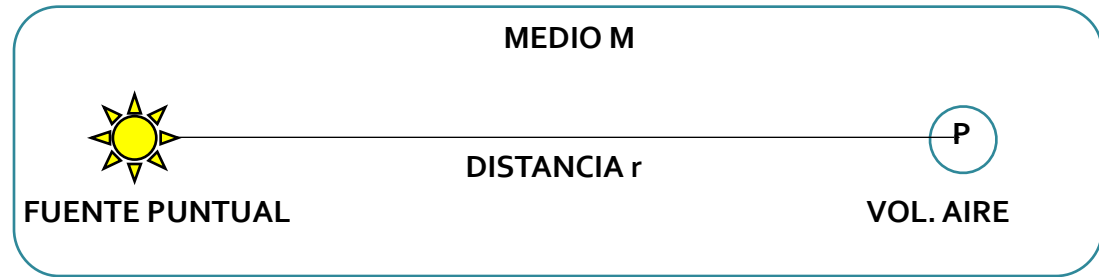
TASA DE KERMA EN AIRE DE REFERENCIA (RAKR)

CONSTANTE DE TASA DE KERMA EN AIRE Y A_{AP}

<i>Radio Nuclide</i>	<i>Air kerma rate constant</i> Γ_{δ} ($\mu\text{Gy.h}^{-1}.\text{MBq}^{-1}.\text{m}^2$)	<i>Apparent activity</i> A_a (MBq)	<i>Apparent activity</i> A_a (mCi)
^{192}Ir	0.1137	879	23.8
	0.1103	906	24.5
	0.1157	864	23.3
^{137}Cs	0.0772	1295	35.0
	0.0782	1279	34.6
	0.0790	1266	34.1
^{125}I	0.0342	2924	79.0

<i>Source Strength</i>	<i>Reference air Kerma-rate</i> ($\mu\text{Gy.h}^{-1}$ at 1 m)	<i>Apparent activity</i> (MBq)	<i>activity</i> (mCi)
1 $\mu\text{Gy.h}^{-1}$ at 1 m	1	1 / Γ_{δ} (radio nuclide)	27.10^{-3} / Γ_{δ} (radio nuclide)
1 MBq	Γ_{δ} (radio nuclide)	1	27.10^{-3}
1 mCi	37. Γ_{δ} (radio nuclide)	37	1

TASA DE KERMA EN AIRE DE REFERENCIA (RAKR)



$$\dot{K}_{AIRE@P} = \frac{A_{AP} * \Gamma_{\delta}}{r^2}$$

$$RAKR = \frac{A_{AP} * \Gamma_{\delta}}{1^2}$$

La **Tasa de Kerma en Aire de Referencia (RAKR)** se puede determinar de 3 maneras:

- Con cámara dedal a una distancia **d** de la fuente y en Aire
- Con cámara dedal a una distancia **d** más corta y en fantoma
- **Con una cámara de pozo**

TASA DE KERMA EN AIRE DE REFERENCIA (RAKR)

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE FUENTE DE BQT

MEDICAL SOURCE CERTIFICATE

Customer Name	ECM Ingenieria SA
Machine Number	H640884-GM
Source serial number	24-01-3460-001-011315-10802-32
AOS Work Order Number	A-0162949
Source Type	GM12000680
Model	GammaMed 232
Connector serial number	24-001-3460
Container serial number	1288
Source code	Medical source GM+HDR GM12000680
Material	AISI 316L
ISO Code	ISO/99/E 53211
Certificate number for special form	USA/0723/S-96 (Revision 2)
Isotope	Iridium-192
Physical form	Solid
Chemical form	Metal
Active dimensions (Diam x h) mm	0.6 mm x 3.5 mm
Capsule dimensions	0.9mm x 4.57mm
Encapsulation	Single
Apparent activity	399.67GBq (10.80 Ci)
Air kerma rate at 1 m	43.966 mGy/h +/- 5%
Calibration date @ 12:00 noon CST	13-Jan-2015
Welding	laser
10 Ci Date	22-Jan-2015

TASA DE
KERMA@AIRE
CON
CÁMARA DE
POZO

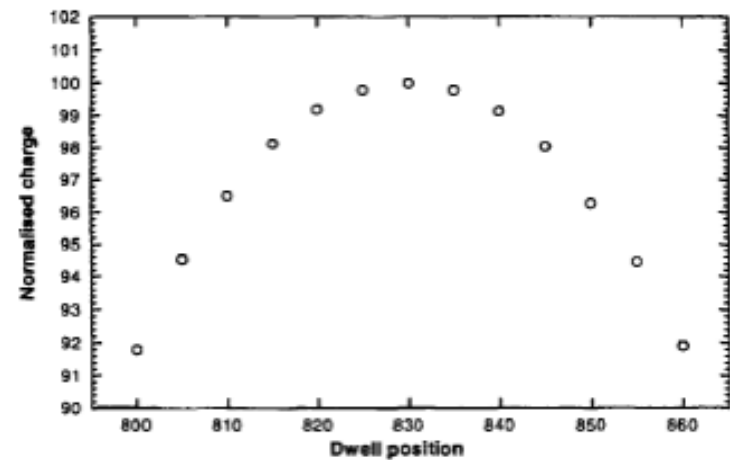
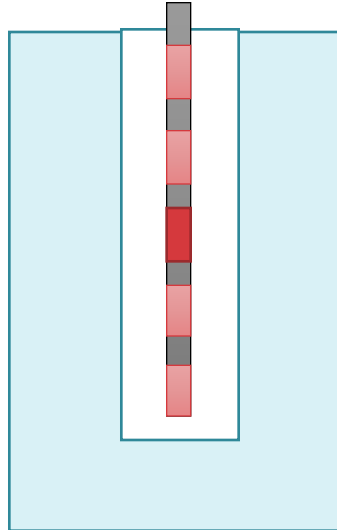
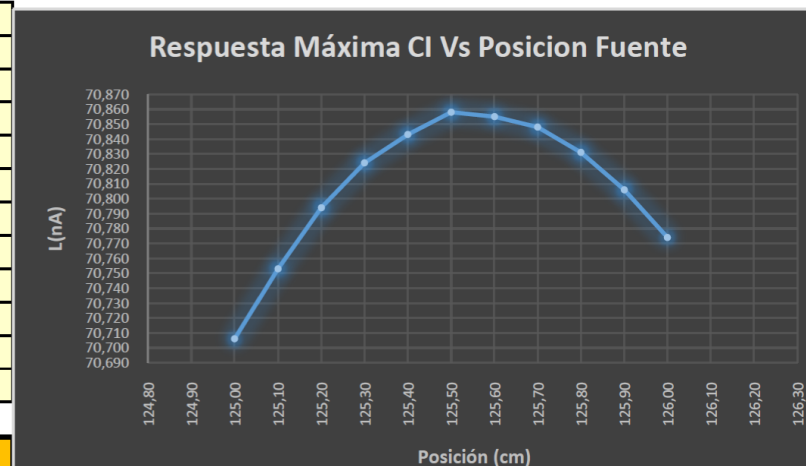


Figure 8. Normalized charge versus source dwell position in a well type ionization chamber.

TASA DE KERMA@AIRE CON CÁMARA DE POZO

NECESIDAD DE CORRECTA CALIBRACIÓN DE FUENTE

Nº	Posi. (cm)	L(nA)
1	126,00	70,774
2	125,90	70,806
3	125,80	70,831
4	125,70	70,848
5	125,60	70,855
6	125,50	70,858
7	125,40	70,843
8	125,30	70,824
9	125,20	70,794
10	125,10	70,753
11	125,00	70,706
12	124,90	70,657



Punto (B), Posicion Máxima (cm)= **125,50**

Punto (B), Lectura Máxima (nA)= **70,858**

Alta Pendiente (cm) = (A)der = **125,25**

(A)Izq = **125,75**

Ancho de la curva entre los pto A (cm) = **0,50**

Tasa Kerma en Aire @ 1m (KR) = $K_R = L_{Prom} \times K_{TP} \times N_{KR} \times K_{ele} \times K_s =$

NECESIDAD DE CORRECTA CALIBRACIÓN DE FUENTE

TASA DE
KERMA@AIRE

TABLE XIII. TYPE AND FREQUENCY FOR ACCIDENTS REPORTED IN BRACHYTHERAPY TREATMENTS

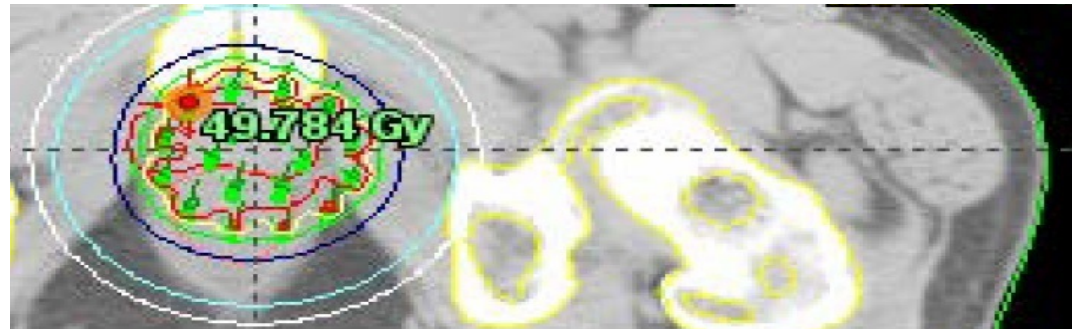
Accident caused by	Number of cases
Dose calculation error	6
Error in quantities and units	2
Incorrect source strength	7
Equipment failure	4
Other	13
Total	32

IAEA TEC 1079. Calibration of Brachytherapy Sources

DE
TASA DE KERMA
@AIRE
A
TASA DE KERMA
@TEJIDO



$\neq$



$=$



DE
TASA DE KERMA
@AIRE
A
TASA DE KERMA
@TEJIDO



DE
TASA DE KERMA
@AIRE
A
TASA DE KERMA
@TEJIDO



$$\dot{K}_{AIRE@P} = \frac{A_{AP} * \Gamma_{\delta}}{r^2}$$

$$\dot{K}_{AIRE@P} = \psi \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{AIRE}$$

$$\dot{K}_{TEJIDO@P} = \psi \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{TEJIDO}$$

$$\dot{K}_{TEJIDO@P} = \dot{K}_{AIRE@P} \frac{\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{TEJIDO}}{\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{AIRE}} = \frac{A_{AP} * \Gamma_{\delta}}{r^2} \left[\frac{\mu}{\rho} \right]_A^T$$



DE
TASA DE KERMA
@AIRE
A
TASA DE KERMA
@TEJIDO



$$\dot{K}_{TEJIDO@P} = \frac{A_{AP} * \Gamma_{\delta}}{r^2} [\mu/\rho]_A^T$$

$$\dot{K}_{TEJIDO@P} = \frac{A_{AP} * \Gamma_{\delta}}{r^2} [\mu/\rho]_A^T F_{AD}$$

F_{AD} = Factor de Atenuación y Dispersión

$F_{AD} = a_0 + a_1 r + a_2 r^2 + a_3 r^3 + a_4 r^4$ (Polinomio Meisberger)



TASA DE DOSIS @TEJIDO

FORMALISMO CONVECCIONAL – FUENTE PUNTUAL



$$\dot{K}_{TEJIDO@P} = \frac{A_{AP}^* \Gamma_{\delta}}{r^2} [\mu/\rho]_A^T F_{AD}$$

A_{ap} = Actividad Aparente

Γ = constante Gamma

r = distancia entre la fuente y el punto P

$[\mu/\rho]$ = razón de coef. másico de absorción

F_{AD} = Factor de Atenuación y Dispersión

$$F_{AD} = a_0 + a_1 r + a_2 r^2 + a_3 r^3 + a_4 r^4 \quad (\text{Polinomio Meisberger})$$

ESQUEMA DE LA PRESENTACIÓN

1

- CALIBRACIÓN DE FUENTES

2

- **FORMALISMO TG₄₃**

3

- NUEVOS ALGORITMOS

FORMALISMO AAPMTG-43U1

¿QUÉ ES EL FORMALISMO TG43?

Es el Formalismo recomendado por la Asociación Americana de Físicos en Medicina (AAPM), que presentó en el reporte 25 del grupo de tarea 43. Se conoce como el reporte de TG43

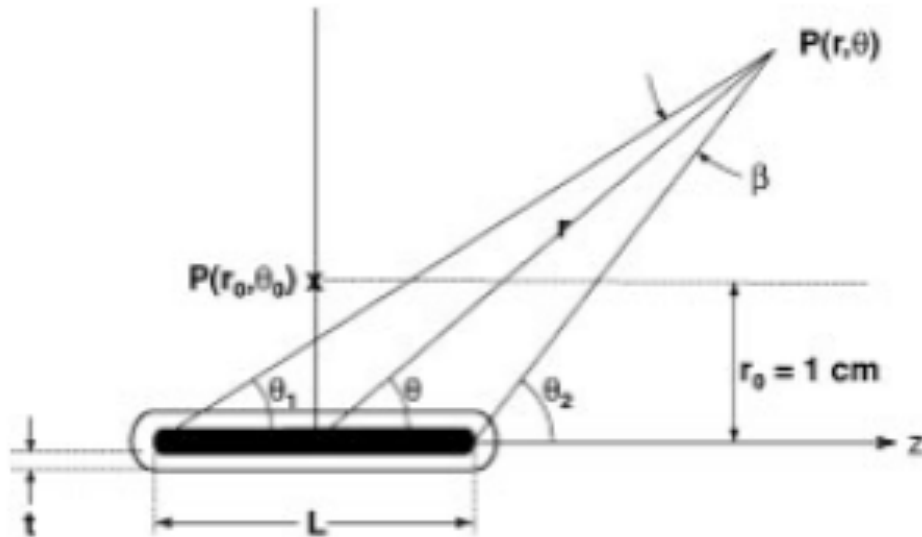
Es un enfoque modular al problema de la caracterización de las fuentes de braquiterapia.

Los efectos de la distribución del material radiactivo dentro de la cápsula son considerados mediante el **Factor Geométrico**.

Los efectos de Absorción y de Dispersión en la capsula y en el medio, a lo largo del eje transversal son considerados por la **Función Radial de Dosis**.

Los efectos de Absorción y de Dispersión en la capsula y en el medio, en todas las otras direcciones son considerados por la **Función Anisotropía**

FORMALISMO AAPMTG-43U1



$$\dot{D}(r, \theta) = S_K \cdot A \cdot \frac{G_L(r, \theta)}{G_L(r_0, \theta_0)} \cdot g_L(r) \cdot F(r, \theta), \quad (1)$$

S_K = Air Kerma Strength

A = Constante de Tasa de Dosis (Dose Rate Constant)

G = Factor Geométrico

g = Función Dosis Radial

F = Función de Anisotropía

FORMALISMO AAPMTG-43U1

EL REPORTE TG₄₃ Y ACTUALIZACIONES

Update of AAPM Task Group No. 43 Report: A revised AAPM protocol for brachytherapy dose calculations

Mark J. Rivard

lations

Supplement to the 2004 update of the AAPM Task Group No. 43 Report

Mark J. Rivard^{a)}

Department of Radiation Oncology, Tufts University School of Medicine, Boston, Massachusetts 02111

Wayne M. Butler

Schiffler Cancer Center, Wheeling Hospital, Wheeling, West Virginia 26003

Larry A. DeWerd

Accredited Dosimetry and Calibration Laboratory, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin 53706

M. Saiful Huq

Department of Radiation Oncology, University of Pittsburgh Cancer Institute, Pittsburgh, Pennsylvania 15232

Geoffrey S. Ibbott

Radiological Physics Center, M.D. Anderson Cancer Center, Houston, Texas 77030

Ali S. Meigooni

Department of Radiation Medicine, University of Kentucky Medical Center, Lexington, Kentucky 40536

Christopher S. Melhus

Department of Radiation Oncology, Tufts University School of Medicine, Boston, Massachusetts 02111

Michael G. Mitch

Ionizing Radiation Division, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland 20899

Ravinder Nath

Department of Therapeutic Radiology, Yale University School of Medicine, New Haven, Connecticut 06510

Jeffrey F. Williamson

Department of Radiation Oncology, Virginia Commonwealth University, Richmond, Virginia 23298

(Received 3 January 2007; revised 19 March 2007; accepted for publication 9 April 2007; published 24 May 2007)

Since publication of the 2004 update to the American Association of Physicists in Medicine (AAPM) Task Group No. 43 Report (TG-43U1), several new low-energy photon-emitting brachytherapy sources have become available. Many of these sources have satisfied the AAPM prerequi-

FORMALISMO AAPMTG-43U1

La actualización del protocolo AAPM TG43U1 incluye los siguientes cambios:

*Se presenta una definición revisada de Air Kerma Strength.
Se elimina concepto de Actividad Aparente.*

*Se elimina la Constante de Anisotropía y se incorpora la
Función de Anisotropía 1D en función de la distancia.*

Se brindan guías para extrapolar datos tabulados

*Se corrigen algunas inconsistencias menores del protocolo
original (TG43 1994)*

*Finalmente el reporte incluye datos de consensuados
(Constantes de Tasa de Dosis, Función Radial, Anisotropía)*

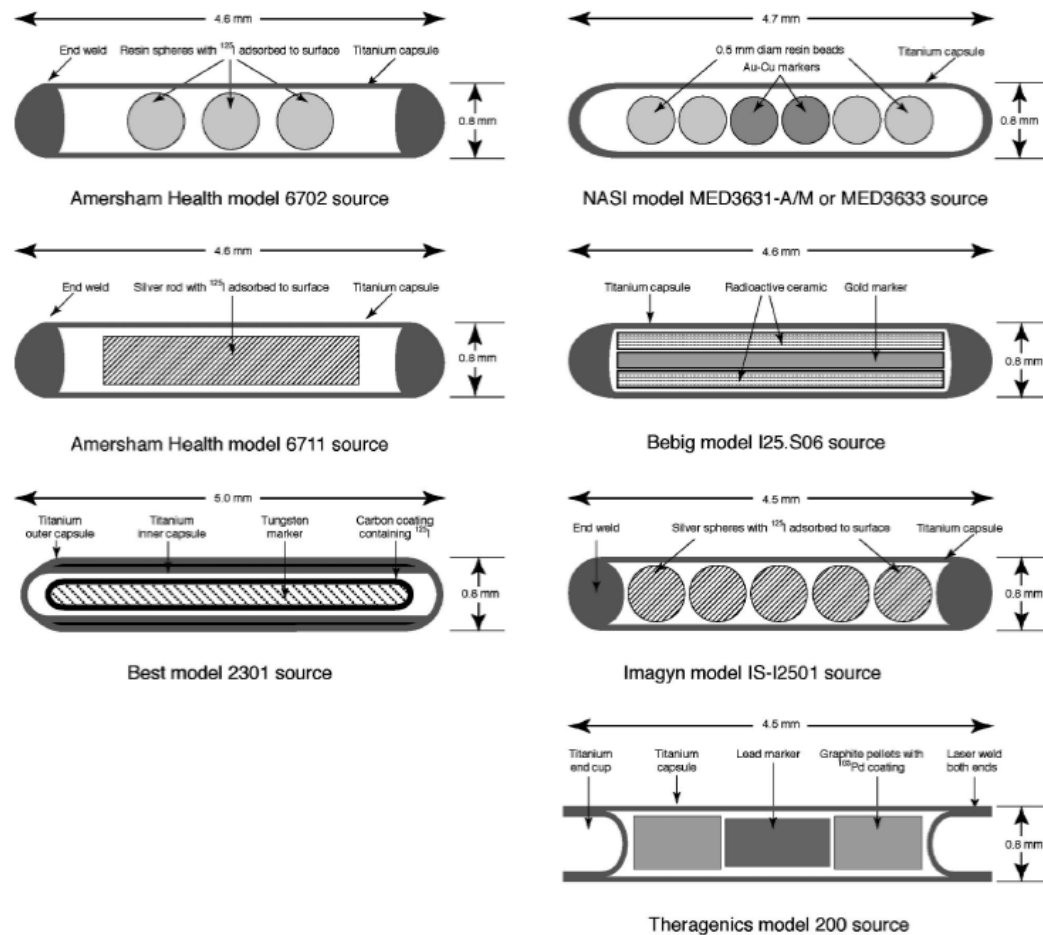
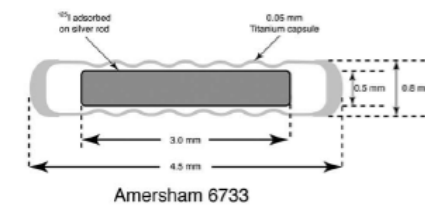


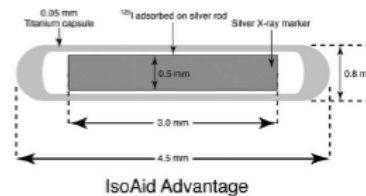
FIG. 2. Brachytherapy seeds examined in this report: (a) Amersham model 6702 source, (b) Amersham model 6711 source, (c) Best model 2301 source, (d) NASI model MED3631-A/M or MED3633 source, (e) Bebig/Theragenics Corp. model I25.S06 source, (f) Imagyn model IS-I2501 source, and (g) Theragenics Corp. model 200 source. The titanium capsule is 0.06 mm thick for the Amersham and Theragenics seeds, while each capsule of the Best seed is 0.04 mm thick. The capsule thickness of the remaining seeds is 0.05 mm.

FORMALISMO
AAPMTG-43U1

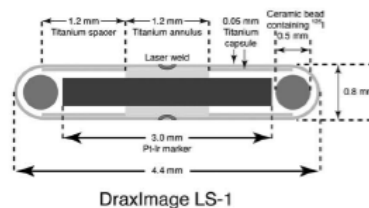
FORMALISMO AAPMTG-43U1



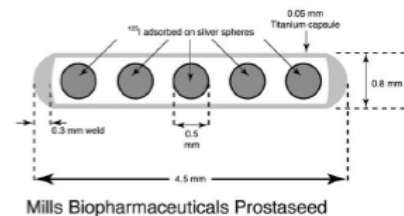
(a)



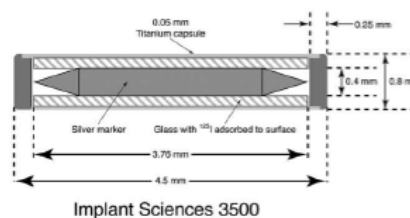
(e)



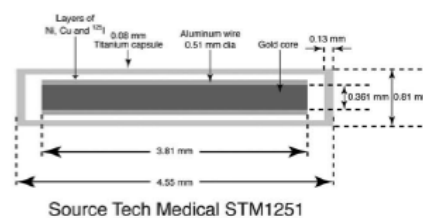
(b)



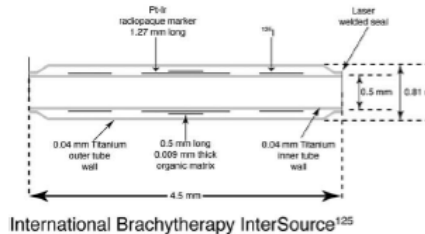
(f)



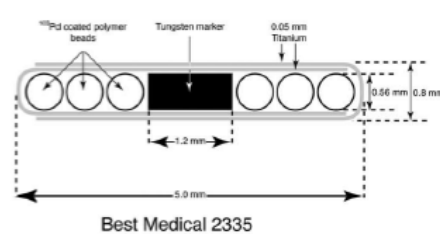
(c)



(g)



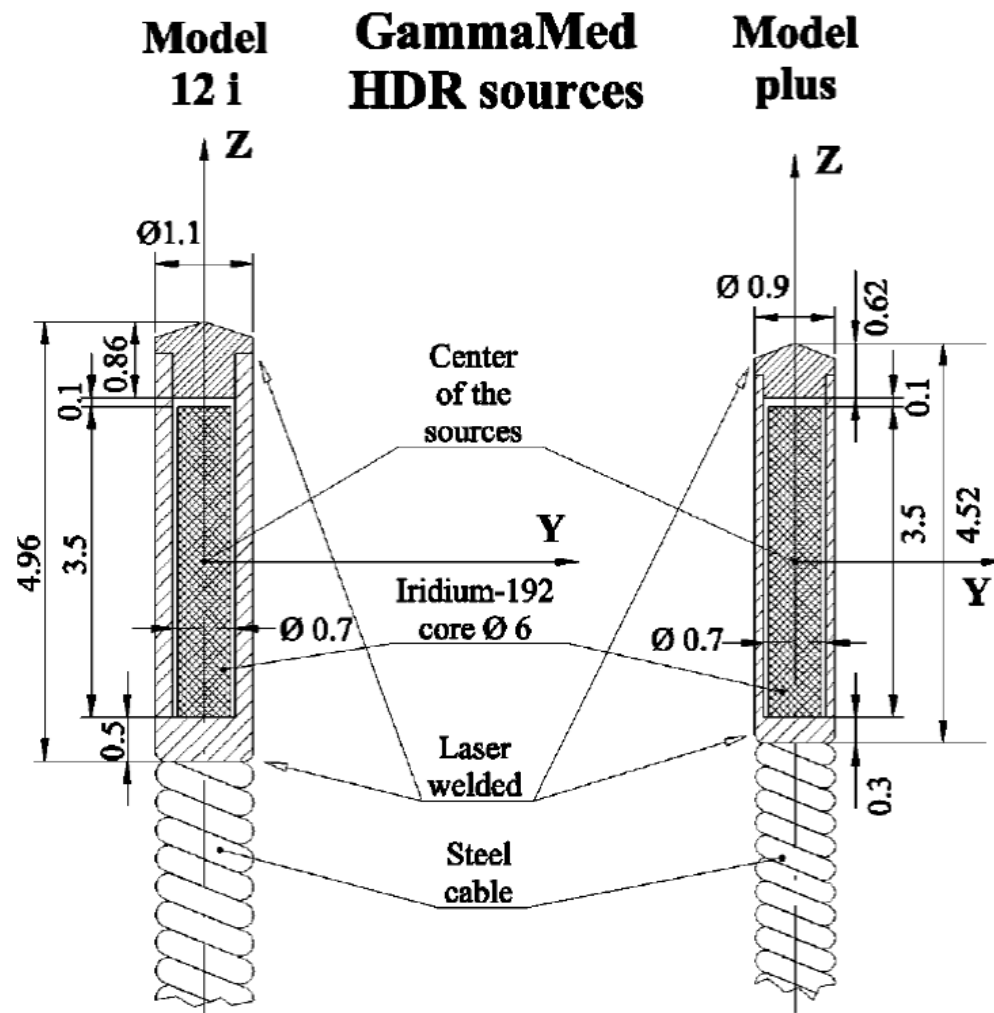
(d)



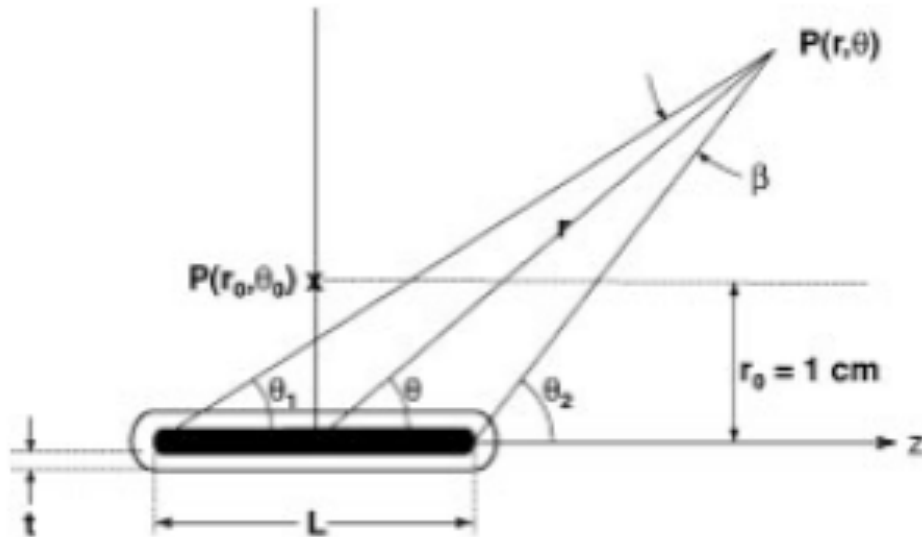
Best Medical 2335

Rivard *et al.*: Supplement to AAPM TG-43 update

FORMALISMO AAPMTG-43U1



FORMALISMO AAPMTG-43U1



$$\dot{D}(r, \theta) = S_K \cdot A \cdot \frac{G_L(r, \theta)}{G_L(r_0, \theta_0)} \cdot g_L(r) \cdot F(r, \theta), \quad (1)$$

S_K = Air Kerma Strength

A = Constante de Tasa de Dosis (Dose Rate Constant)

G = Factor Geométrico

g = Función Dosis Radial

F = Función de Anisotropía

TG-43U1

$$\dot{D}(r, \theta) = S_K \cdot \Lambda \cdot \frac{G_L(r, \theta)}{G_L(r_0, \theta_0)} \cdot g_L(r) \cdot F(r, \theta), \quad (1)$$

- **Air Kerma Strength (S_K)**

Es numéricamente igual RAKR propuesto por ICRU38 y ICRU60. Por conveniencia la combinación de unidades $\text{cGy cm}^2 \text{h}^{-1} = \text{U}$.

Es la Tasa de Kerma en Aire (in Vacuo) determinada a una distancia d , multiplicada por d^2

TG-43U1

$$\dot{D}(r, \theta) = S_K \cdot \Lambda \cdot \frac{G_L(r, \theta)}{G_L(r_0, \theta_0)} \cdot g_L(r) \cdot F(r, \theta), \quad (1)$$

- Constante de Tasa de Dosis (Dose Rate Constant) Λ

$$\Lambda = \frac{\dot{D}(r_0, \theta_0)}{S_K}.$$

Es la razón de la tasa de dosis de referencia (en la posición de referencia) y S_K .

Depende del radionucleido y del modelo de fuente

TG-43U1

$$\dot{D}(r, \theta) = S_K \cdot \Lambda \cdot \frac{G_L(r, \theta)}{G_L(r_0, \theta_0)} \cdot g_L(r) \cdot F(r, \theta), \quad (1)$$

- Factor Geométrico, $G_K(r, \theta)$

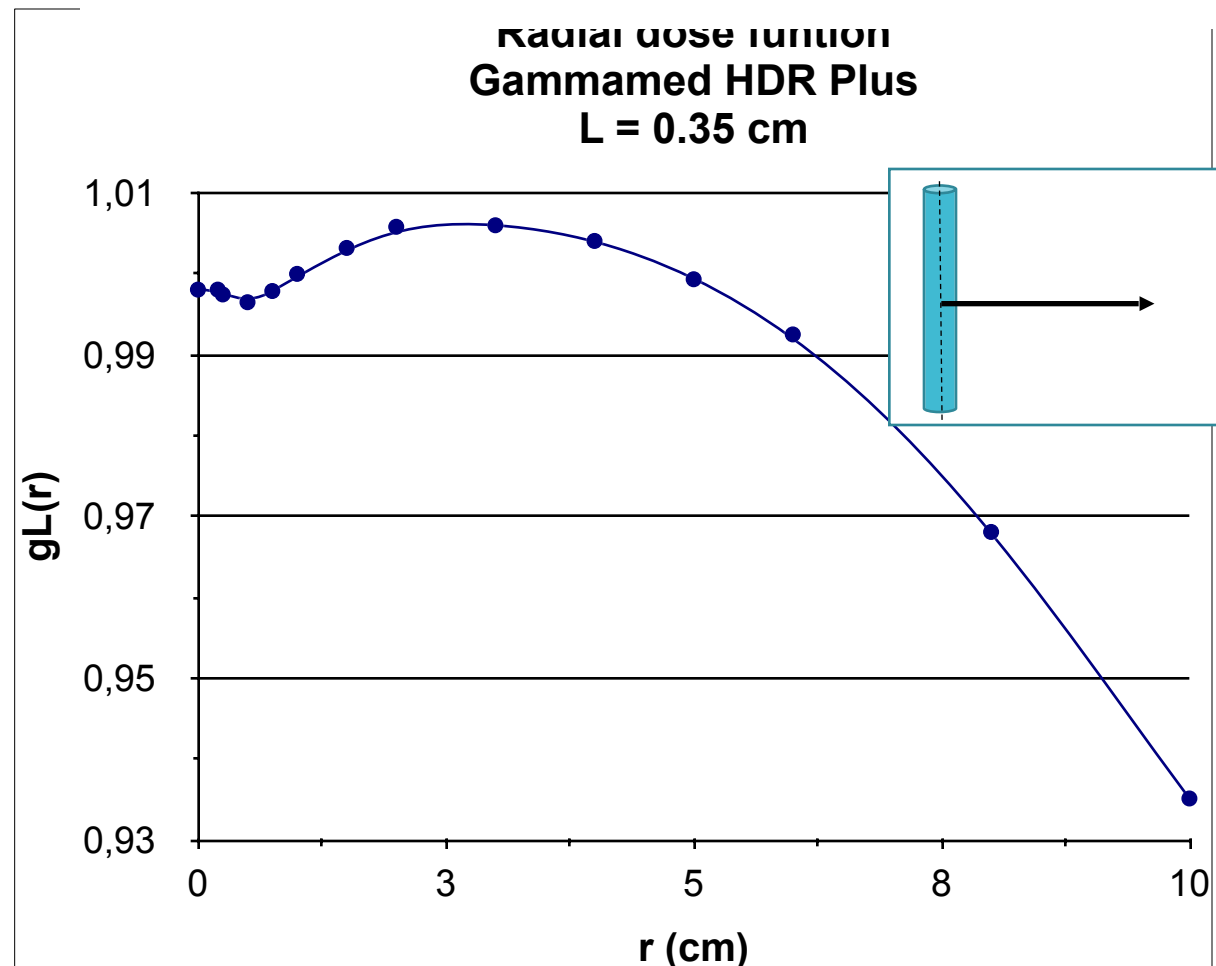
Considera los efectos de la distribución del material radiactivo dentro de la cápsula.

$$G_P(r, \theta) = r^{-2} \quad \text{point-source approximation,}$$

$$G_L(r, \theta) = \begin{cases} \frac{\beta}{Lr \sin \theta} & \text{if } \theta \neq 0^\circ \\ (r^2 - L^2/4)^{-1} & \text{if } \theta = 0^\circ \end{cases} \quad \text{line-source}$$

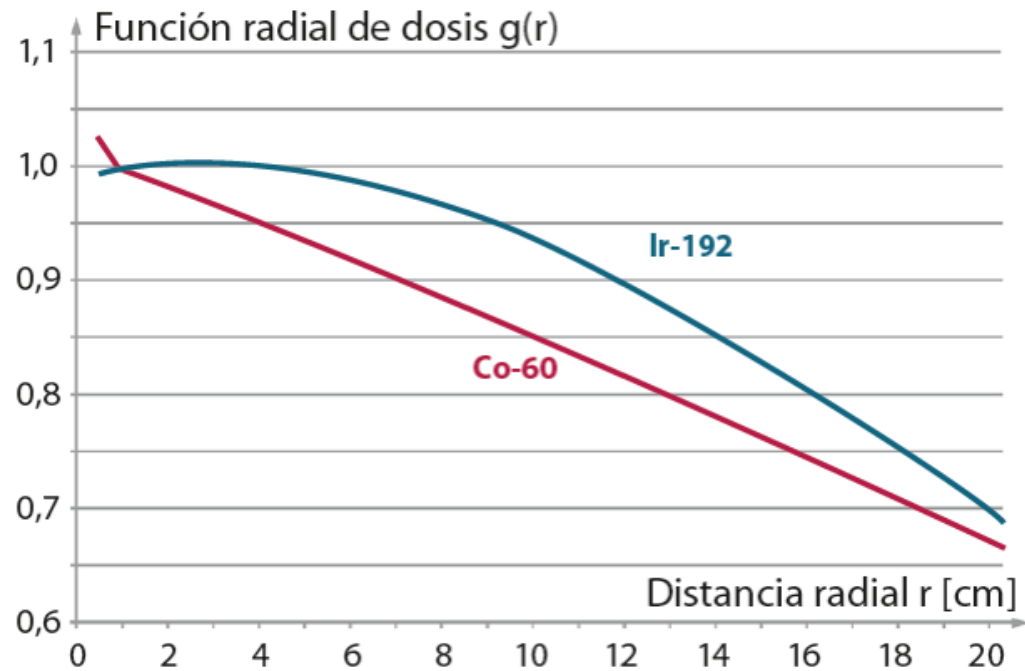
FORMALISMO AAPMTG-43U1

$$\dot{D}(r, \theta) = S_K \cdot \Lambda \cdot \frac{G_L(r, \theta)}{G_L(r_0, \theta_0)} \cdot g_L(r) \cdot F(r, \theta), \quad (1)$$



FORMALISMO AAPMTG-43U1

FUNCIÓN DE DOSIS RADIAL



Da cuenta de los efectos de Absorción y de Dispersión en la capsula y en el medio, a lo largo del eje transversal.

$$\dot{D}(r, \theta) = S_K \cdot \Lambda \cdot \frac{G_L(r, \theta)}{G_L(r_0, \theta_0)} \cdot g_L(r) \cdot F(r, \theta), \quad (1)$$

- Función de Anisotropía, $F(r, \theta)$

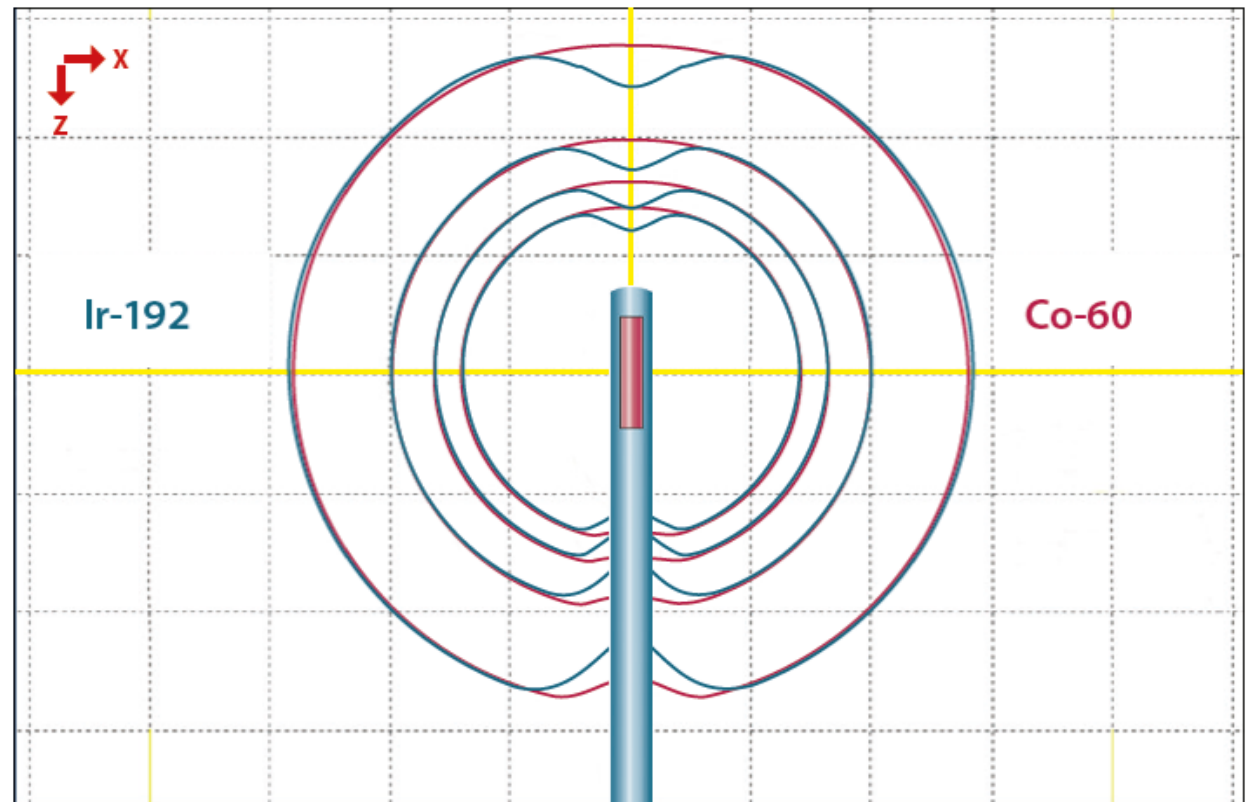
The 2D anisotropy function, $F(r, \theta)$, is defined as

$$F(r, \theta) = \frac{\dot{D}(r, \theta)}{\dot{D}(r, \theta_0)} \frac{G_L(r, \theta_0)}{G_L(r, \theta)}.$$

$$\phi_{an}(r) = \frac{\int_0^\pi \dot{D}(r, \theta) \sin(\theta) d\theta}{2\dot{D}(r, \theta_0)}.$$

FORMALISMO AAPMTG-43U1

FUNCIÓN DE ANISOTROPÍA



Da cuenta de los efectos de Absorción y de Dispersión en la capsula y en el medio, en todas las otras direcciones en relación eje transversal.

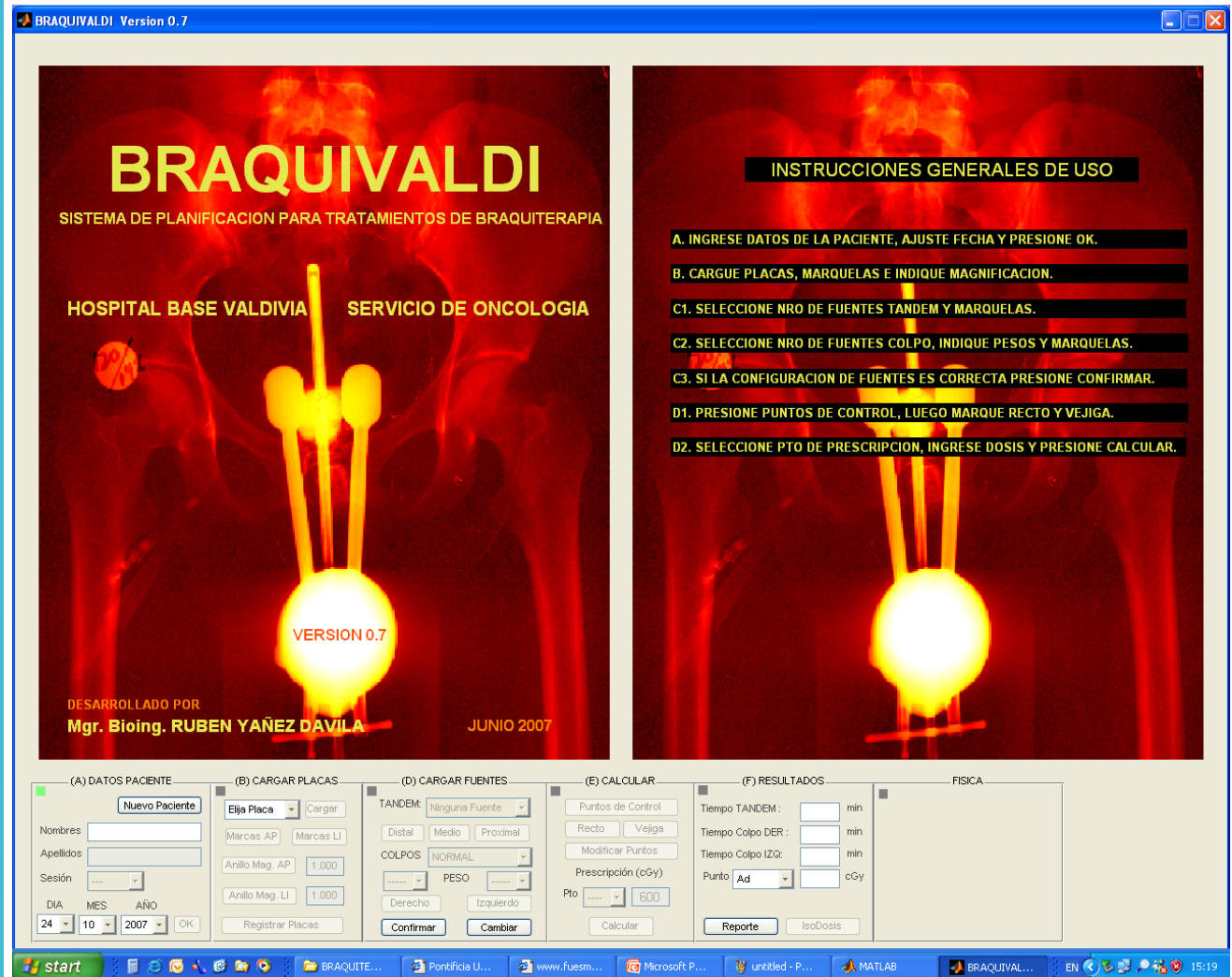
TG-43U1

- La mayoría de los TPS calculan así

$$\dot{D}(r) = S_K \cdot \Lambda \cdot \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 \cdot g_P(r) \cdot \phi_{an}(r),$$

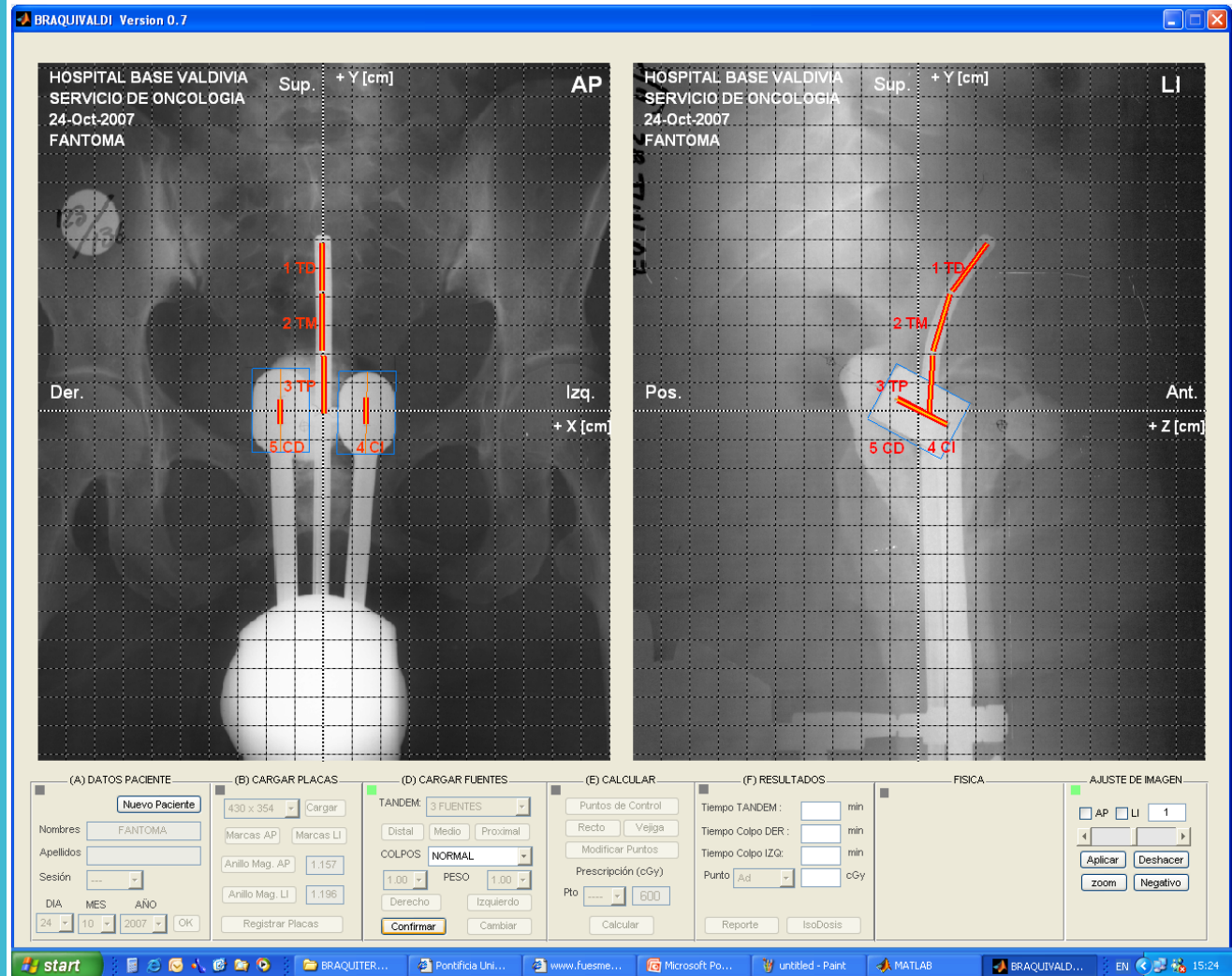
BRAQUIVALDI

TG 43 @TPS



BRAQUI VALDI

TG₄₃ @TPS

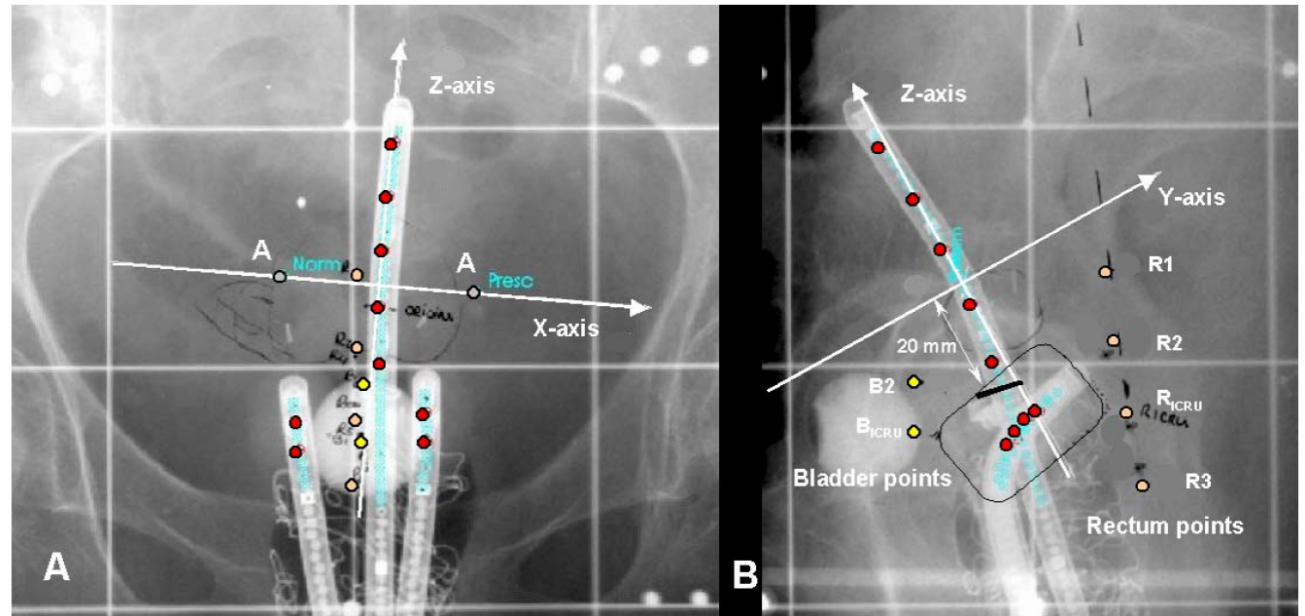


FORMALISMO AAPMTG-43U1

PARA TENER EN CUENTA

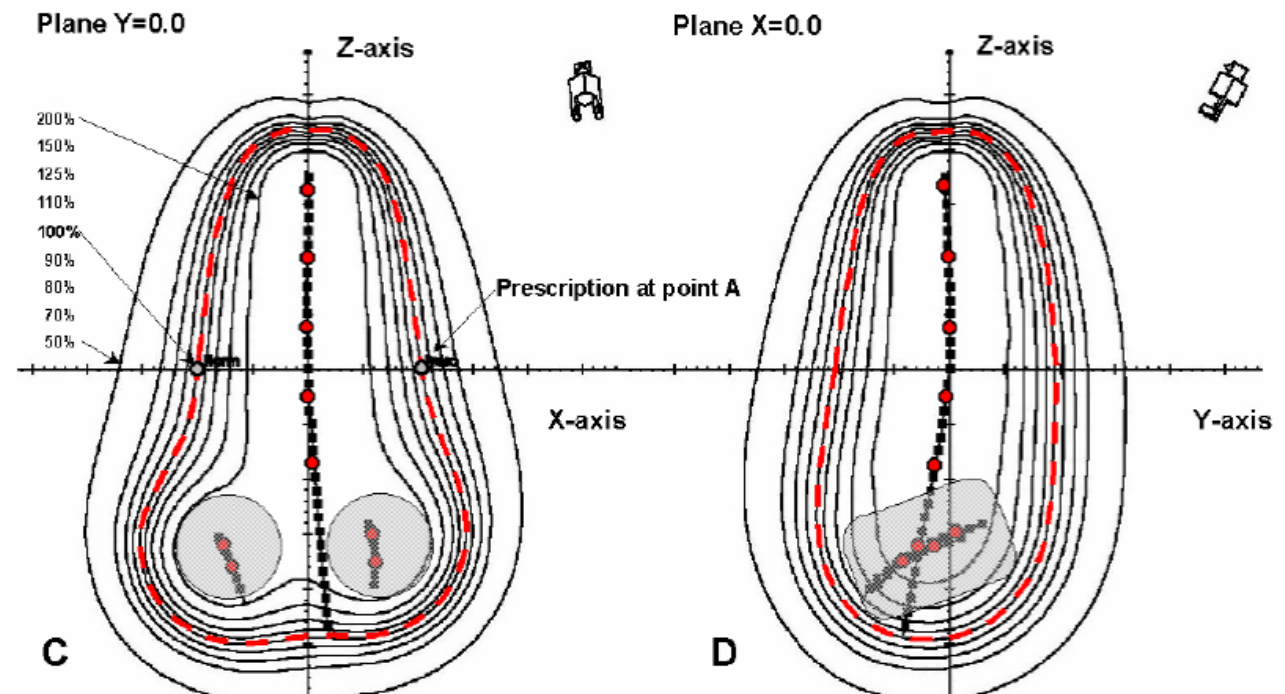
- Este nuevo formalismo no es sólo un reordenamiento de factores del Formalismo Convencional.
- El Formalismo Convencional está basado en cálculos analíticos, mientras que el Formalismo TG 43 está basado en mediciones y cálculos MonteCarlo.

TG 43 @TPS



Se aplica el Formalismo de Cálculo para cada fuente (Dwell position) y para punto de control (Recto, Vejiga, Prescripción, etc). Es decir se realizan miles de cálculos por tratamiento, por eso se necesita de un computador

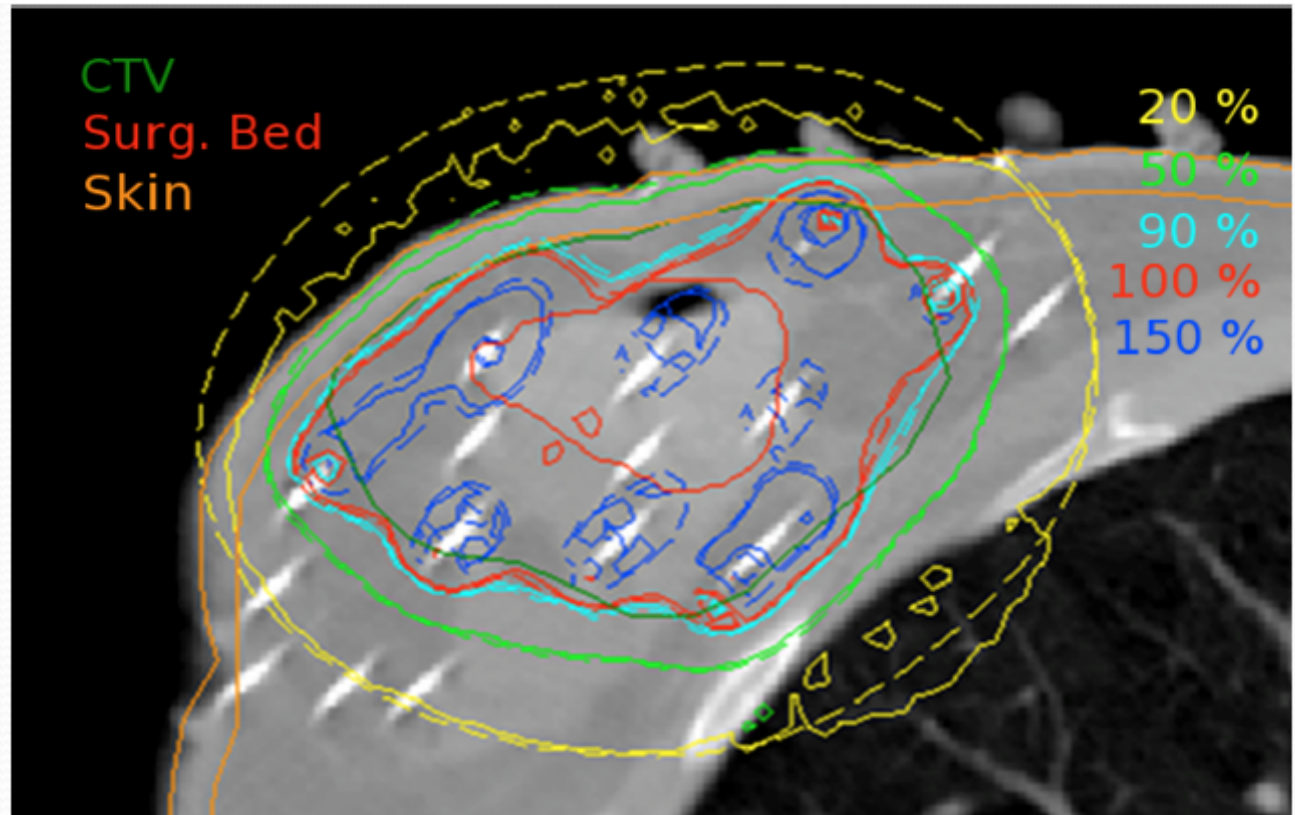
TG 43 @TPS



- C: Dose distribution in the oblique frontal plane $Y=0.0$
 D: Dose distribution in the oblique sagittal plane $X=0.0$
 Source positions are shown in all four panels.

LIMITACIONES DEL TG₄₃

Calculo de Dosis: Formalismo TG 43 versus Monte Carlo (MC)

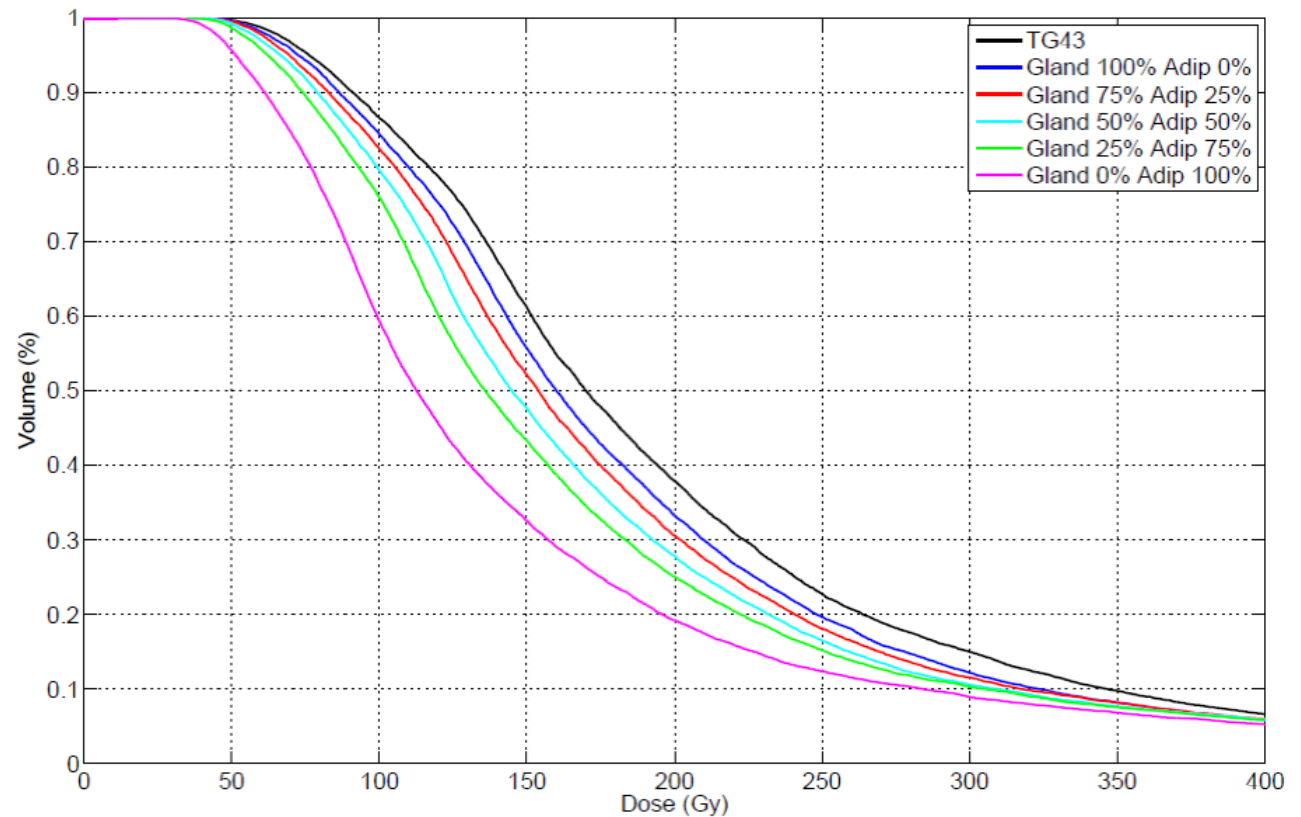


TG₄₃ = Línea de trazos.

MC = Línea continua.

LIMITACIONES DEL TG43

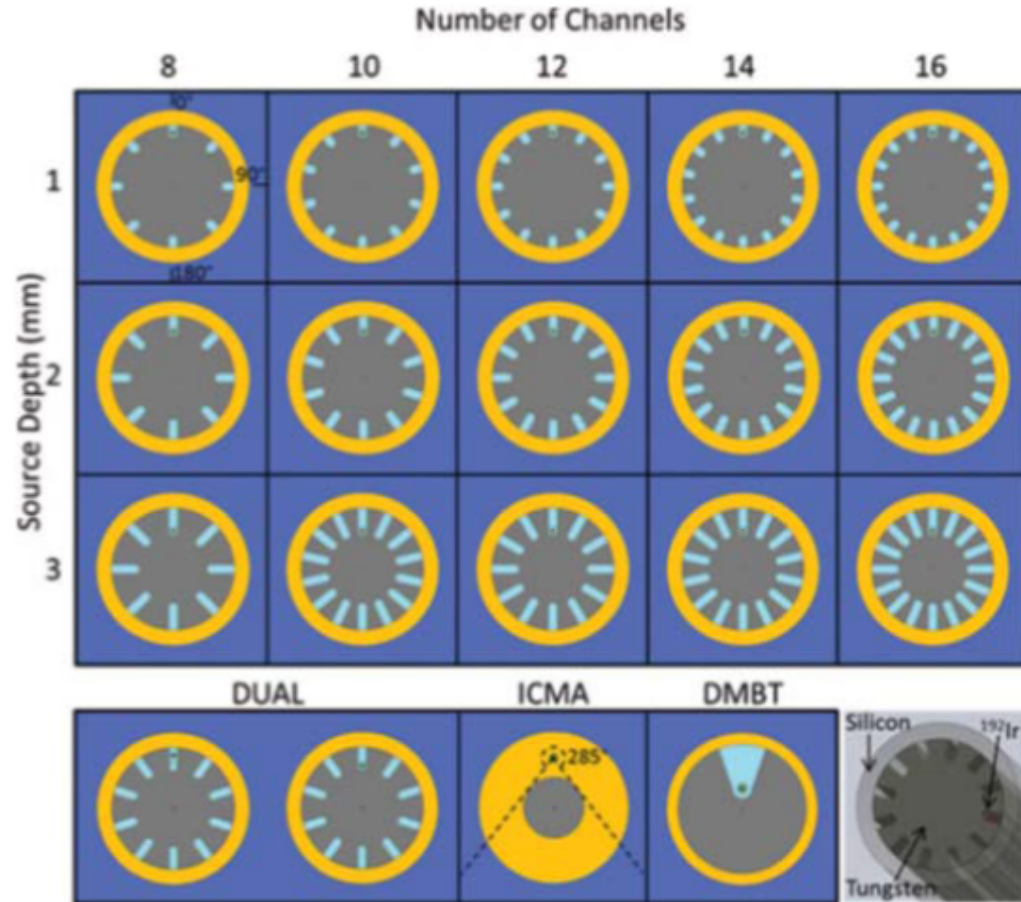
DVH AGUA VS DVH TEJIDO



Afsharpour et al., PMB 2010

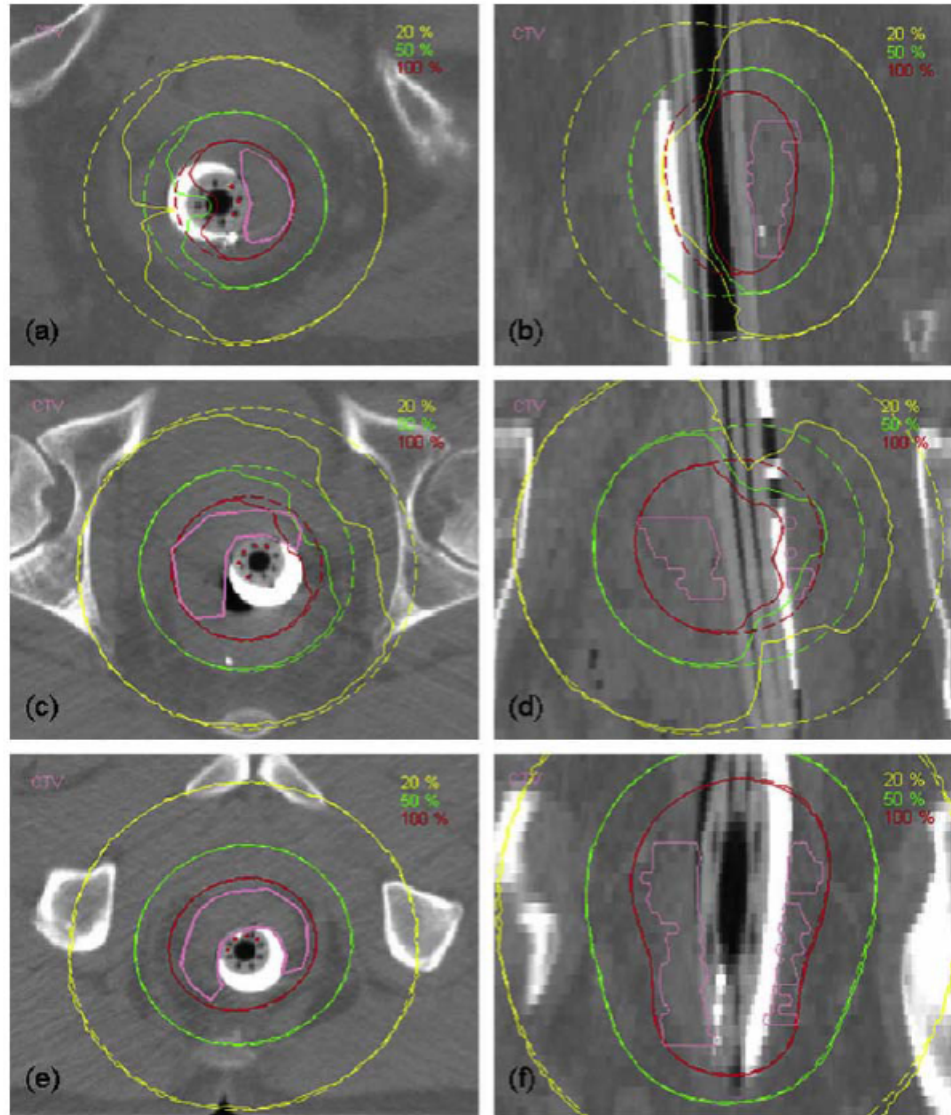
LIMITACIONES DEL TG₄₃

APLICADORES CON BLINDAJE



Webster et al, *Med Phys* 40, 091704 (2013)

LIMITACIONES DEL TG43



MC vs TG43

Con blindaje
de Tungsteno.

Con blindaje
de Plomo.

Sin blindaje.

Poon et al.,
IJROBP (2008)

ESQUEMA DE LA PRESENTACIÓN

1

- CALIBRACIÓN DE FUENTES

2

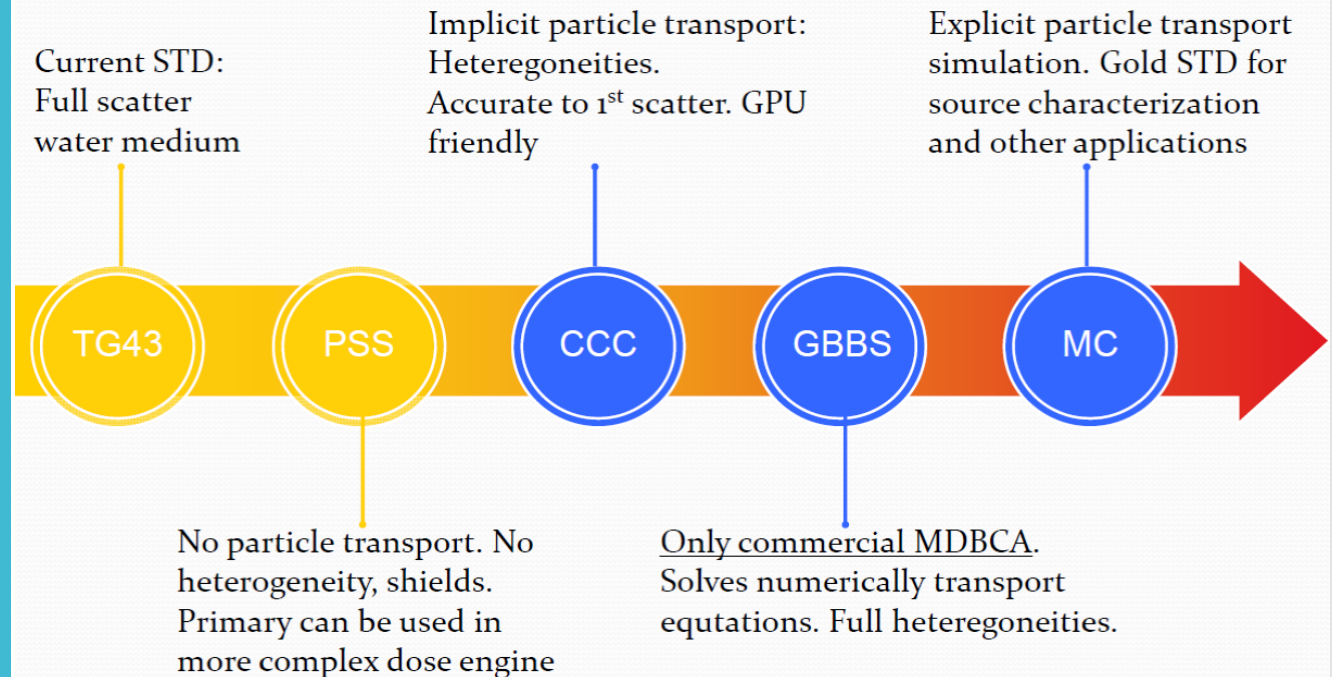
- FORMALISMO TG₄₃

3

- **NUEVOS ALGORITMOS**

¿QUÉ SIGUE?

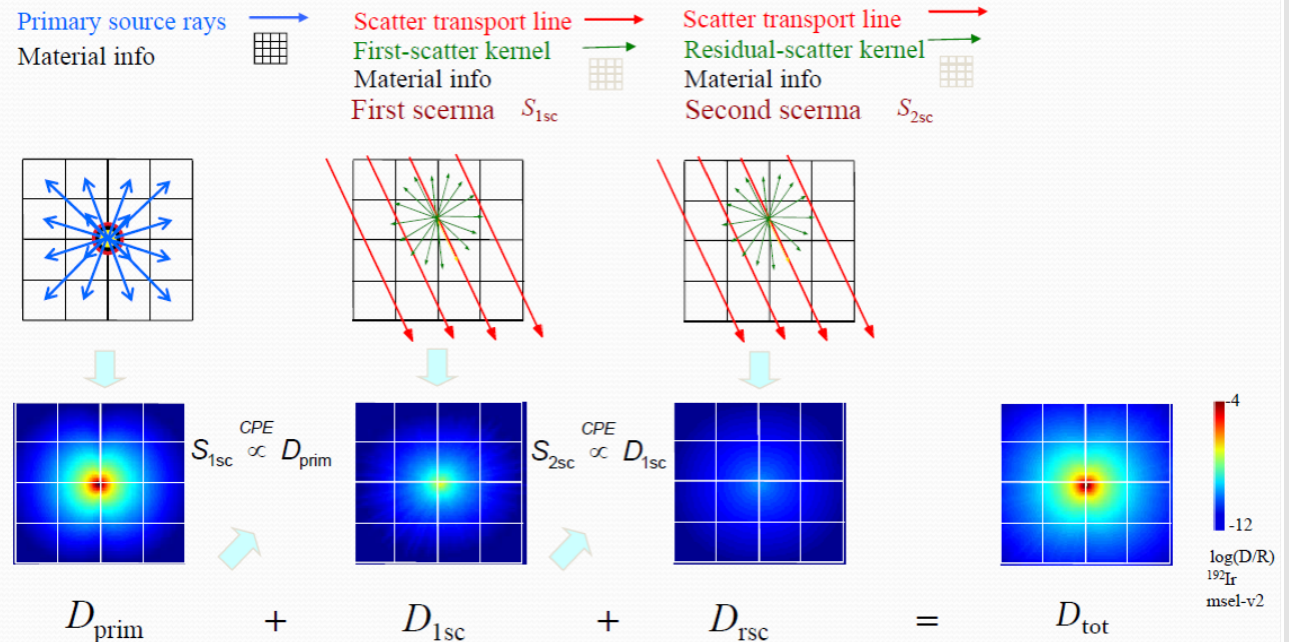
LÍNEA EVOLUTIVA DE LOS MODELOS DE CÁLCULO



ALGORITMOS DE CÁLCULO DOSIMÉTRICO BASADOS EN MODELOS

CONVOLUCIÓN DE CONOS COLAPSADOS (CCC)

I. Raytrace source II. CC convolution III. CC convolution IV. Summation

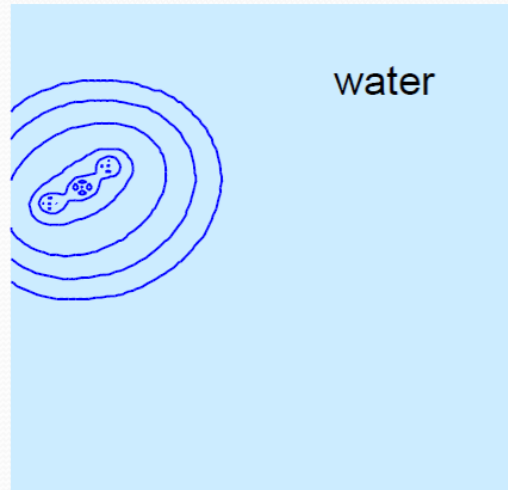


Details in Carlsson and Ahnesjö (2000) Med Phys p 2320-2332

ALGORITMOS DE CÁLCULO DOSIMÉTRICO BASADOS EN MODELOS

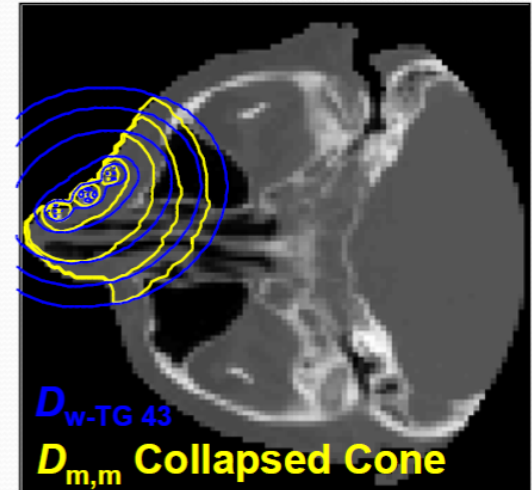
CONVOLUCIÓN DE CONOS COLAPSADOS (CCC)

I. TG43



Superposition of single-source
water-dose
Imaging in TG43: localise dose -
anatomy

II. MBDCA

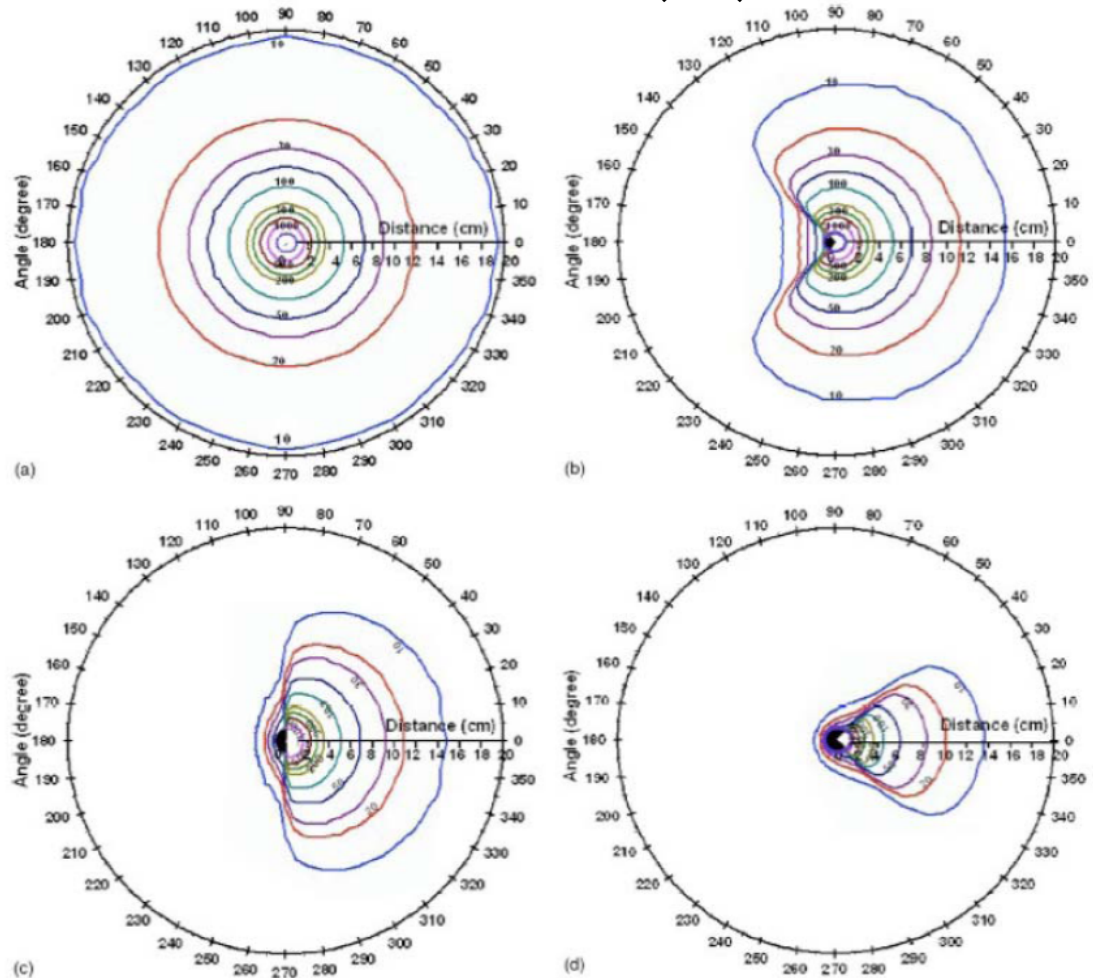


Information on tissue, etc
composition from images or
elsewhere

From Åsa Carlsson-Tedgren

ALGORITMOS DE CÁLCULO DOSIMÉTRICO BASADOS EN MODELOS

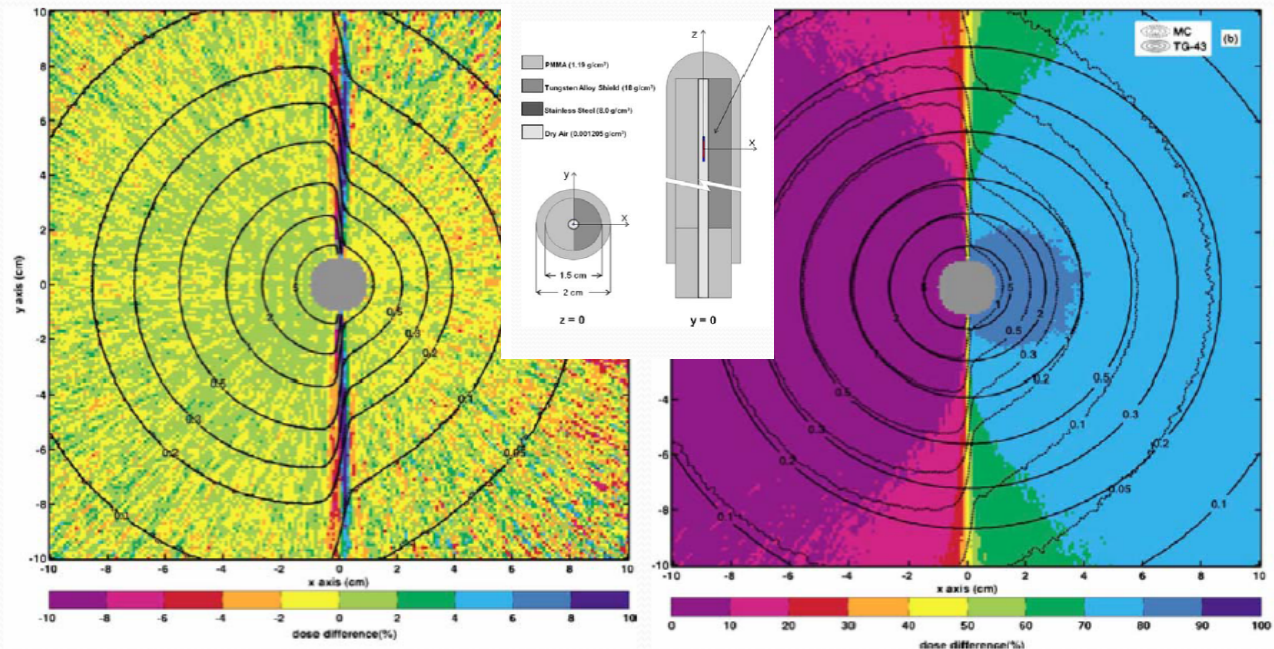
MONTE CARLO (MC)



6 : Sureka C S, Aruna P, Ganesan S, « Computation of relative dose distribution and effective transmission around a shielded vaginal cylinder with Ir-192 HDR source using MCNP4B », Med. Phys., 44(6), 2006

ALGORITMOS DE CÁLCULO DOSIMÉTRICO BASADOS EN MODELOS

MONTE CARLO (MC)



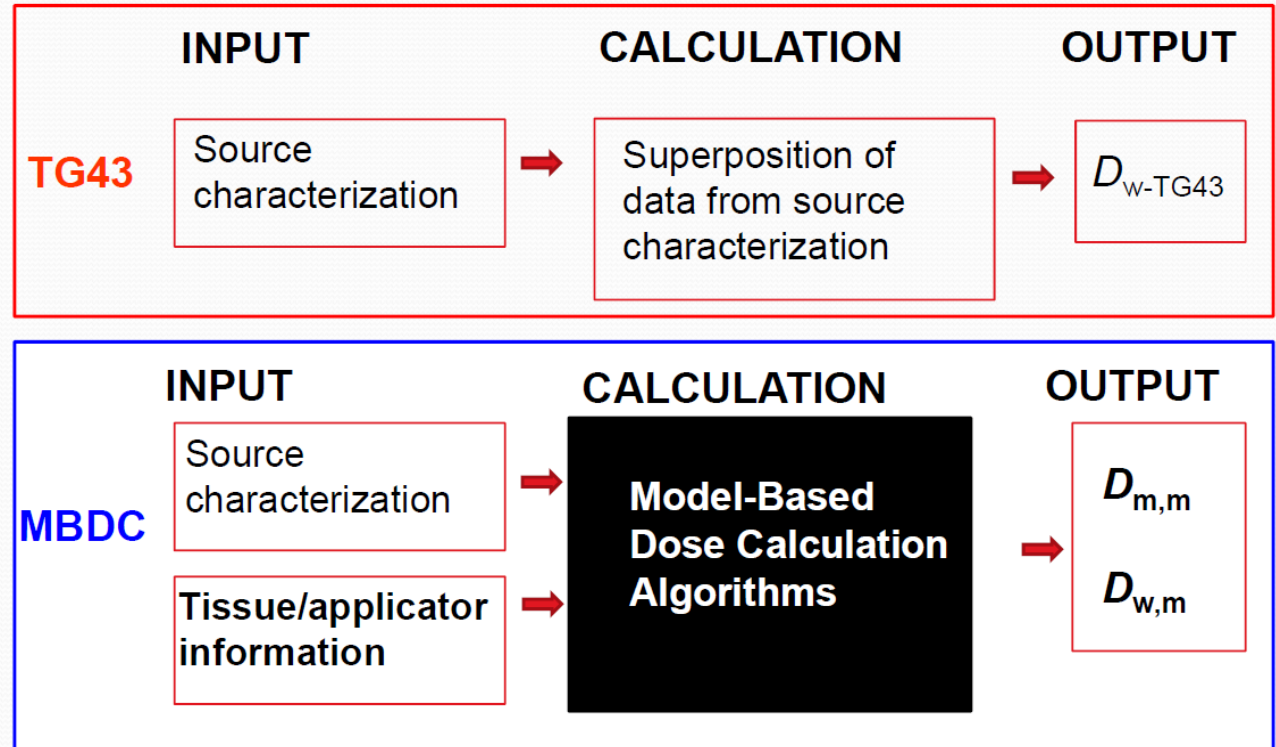
- Speed: 40 sec to 12 min depending on complexity

Figure from : L. Petrokokkinos *et. al.* Med. Phys. 38, 1981-1992 (2011).

Limitaciones: Complejidad y Tiempo de cálculo.

COMPARACIÓN DE ALGORITMOS DE CÁLCULO DOSIMÉTRICO

BASADO EN FACTORES VS BASADO EN MODELOS



From Åsa Carlsson-Tedgren

GRACIAS!

HOSPITAL BASE VALDIVIA



ruben.yanez@redsalud.gov.cl

TASA DE DOSIS @TEJIDO

FORMALISMO CONVECCIONAL – FUENTE LINEAL



$$\dot{K}_{TEJIDO@P} = \frac{A_{AP} * \Gamma_{\delta}}{r^2} [\mu/\rho]_A^T F_{AD}$$

TASA DE DOSIS @TEJIDO

a